

高炉セメントを用いた膨張コンクリートのマス養生温度履歴下における拘束膨張・収縮特性

太平洋セメント(株) 正会員 ○松本 健一 谷村 充
 日本ヒューム(株) 正会員 三谷 裕二
 太平洋マテリアル(株) 正会員 佐竹 紳也

1. はじめに

近年、膨張材をマスコンクリートに適用した場合の温度ひび割れ低減効果を定量的に評価する試みが増えている。一方で、解析結果を大きく左右する膨張コンクリートの若材齢における材料特性、とりわけ膨張・収縮ひずみの温度依存性については十分に把握されていない部分もあり、解析精度を向上させる上での課題となっている。

本報告では、高炉セメントB種と膨張材を組み合わせたコンクリートを対象に、種々の温度下においてPC鋼材およびインバー鋼材を用いた一軸拘束試験を行い、拘束膨張・収縮特性に及ぼす温度の影響や温度上昇～温度降下の領域における膨張材の温度応力低減効果について実験的に評価した。

2. 実験概要

表-1に使用材料、表-2に配合を示す。水/(セメント+高炉スラグ微粉末+膨張材)比は55%、高炉スラグ微粉末の置換率は高炉セメントB種に相当する42%とし、石灰系の低添加型膨張材を収縮補償程度の20kg/m³混和した(以下、BEx)。

図-1にPC鋼材を用いた拘束供試体の形状・寸法を示す。拘束鋼材比は0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 4.0%の5水準とし、鋼材の中央区間(40mm)が所定の拘束鋼材比になるように円断面に切削加工した。

図-2にインバー鋼材を用いた拘束供試体の形状・寸法を示す。インバー鋼材は線膨張係数が一般の鋼材のおよそ1/20(0.5×10⁻⁶/°C)であるため、膨張材による膨張ひずみと温度ひずみの双方の影響を受ける状態での拘束膨張・収縮ひずみを測定できる。拘束鋼材比は0.7, 1.7, 5.7%の3水準とし、比較用として膨張材無混和のコンクリート(W/P=55%, P=C+BF=318kg/m³, BF=P×42%)を用いた供試体も作製した(以下、BB)。

拘束供試体の鋼材ひずみは、拘束棒中央部(ねじ切削面)の対称面に貼付した自己温度補償ひずみゲージを用いて測定した。

PC鋼材を用いた拘束供試体の養生温度は一定温度20, 40, 60の3水準とし、インバー鋼材を用いた供試体はマスコンクリート部材内部を想定した温度履歴下で養生した。設定した温度履歴はJCIマスコンクリート委員会報告書¹⁾に示されている壁状構造体(高さ2000mm, 壁圧1800mm)を参考にして、2次元FEM温度解析より求めた断面中央の中層位置(高さ1000mm)におけるものとした。

コンクリートの練り混ぜは全て20℃、R.H.80%の試験室内で行い、打ち込みからブリーディングがほぼ終了するまで約20日の室内に静置した後、仕上がり面にポリエステルフィルムを被せ、その上を湿布で覆った状態で所定の一定温度および温度履歴で制御した恒温槽内に投入した。材齢1日の時点で脱型し、供試体全面をアルミ箔粘着テープでシールした後、同条件で封緘養生を行った。

表-1 使用材料

材料	記号	物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント / 密度: 3.16g/cm ³ , 比表面積: 3310cm ² /g
高炉スラグ	BF	高炉スラグ微粉末 / 密度: 2.90g/cm ³ , 比表面積: 4180cm ² /g
膨張材	EX	低添加型石灰系膨張材 / 密度: 3.16g/cm ³ , 比表面積: 3450cm ² /g
細骨材	S	静岡県河東産陸砂 / 表乾密度: 2.59g/cm ³ , 吸水率: 1.63%, F.M.: 2.84
粗骨材	G	茨城県岩瀬産砕石 / 最大寸法: 20mm, 表乾密度: 2.64g/cm ³ , 吸水率: 0.84%, F.M.: 6.61
高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸系 / 密度: 1.09g/cm ³

表-2 コンクリートの配合

スラブ (cm)	空気量 (%)	W/P*	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
				W	C	BF	EX	S	G	SP
15± 2.5	4.5± 1.5	55	47	175	173	125	20	824	945	0.636

* P=C+BF+EX

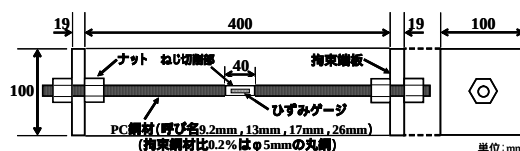


図-1 PC鋼材を用いた拘束供試体

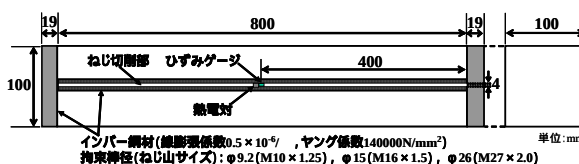


図-2 インバー鋼材を用いた拘束供試体

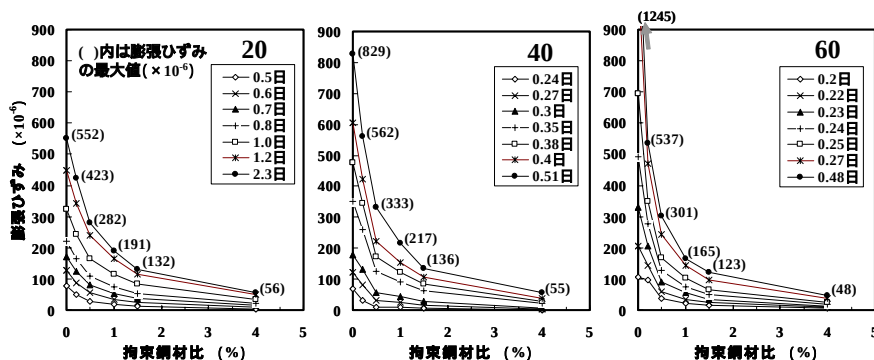


図-3 拘束膨張ひずみと拘束鋼材比の関係(PC鋼材拘束試験)

キーワード: 高炉セメントB種, 膨張コンクリート, マス養生温度, 拘束膨張・収縮ひずみ
 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント中央研究所 TEL043-498-3837

3. PC 鋼材を用いた拘束試験結果

図-3 に PC 鋼材を用いた拘束試験における膨張ひずみと拘束鋼材比の関係の経時変化を示す。材齢の起点は注水時点とし、最終値は膨張ひずみがほぼ最大に達した時点である。図中には、同一温度下における自由膨張ひずみの結果を併記する。自由膨張ひずみは $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 供試体中心部に設置した低弾性型の埋め込み型ひずみ計を用いて測定したひずみから温度ひずみ（コンクリートの線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ と仮定）を差し引いて算出した。

膨張ひずみと拘束鋼材比は下に緩やかな凸の曲線関係となり、養生温度が高いほど膨張の発現速度が大きく、早い段階で膨張ひずみが最大に達する。これらは、筆者らが過去に示した普通セメントを用いた膨張コンクリートの実験結果と同様の傾向であった²⁾。拘束膨張ひずみの養生温度による差は、拘束鋼材比 0.2% では約 30%、0.5～4.0% では 20% の範囲内であり、拘束鋼材比が大きくなるに従って小さくなった。コンクリート標準示方書³⁾では、収縮補償用コンクリートの目安として JIS A 6202 A 法の膨張ひずみが $150 \sim 250 \times 10^{-6}$ の範囲と定めており、この試験とほぼ等しい拘束条件である拘束鋼材比 1.0% の結果と比較すると、養生温度が高い場合においても示方書の基準値を確保できている。一方、自由膨張ひずみ（拘束鋼材比ゼロ）は、拘束膨張ひずみより相対的に温度依存性が大きく、20 の場合と比較して、40 で約 1.5 倍、60 で約 2.3 倍となり、温度の上昇に伴って急激に大きくなった。

4. インバー鋼材を用いた拘束試験結果

図-4 にインバー鋼材を用いた拘束試験における供試体中心部の温度および拘束膨張・収縮ひずみの経時変化を示す。また、図-5 に温度降下過程における鋼材ひずみの経時変化を示す。

供試体の温度は材齢 2.5 日付近で最高温度 59.5 に達した後、約 20 まで徐々に降温する履歴を示した。

温度上昇過程で生じた膨張コンクリート (BEx) の膨張ひずみは、膨張材無混和のコンクリート (BB) と比較して、拘束鋼材比 0.7, 1.7, 5.7% においてそれぞれ 1.6, 1.6, 1.4 倍であったのに対し、温度降下過程における収縮ひずみは、膨張材の有無に拘らずほぼ同等の挙動であった。

図-6、図-7 に拘束応力（引張を正、圧縮を負）の経時変化、および BEx と BB の拘束応力の差の経時変化を示す。拘束応力はコンクリートと拘束鋼材の力の釣合いとひずみの適合条件に基づいて算出しており、BEx と BB の拘束応力の差は膨張材の作用による温度応力低減効果（膨張応力）とみなすことができる。膨張応力の最大値は拘束鋼材比 0.7, 1.7, 5.7% に対して約 0.19, 0.33, 0.52 N/mm^2 であり、温度上昇過程で生じた膨張応力は温度降下過程においてもほぼ一定値を保持していた。すなわち、膨張材によって温度上昇過程に生じた圧縮応力の増加は温度降下後においても残存し、引張応力の低減に明らかな効果を示している。

5. まとめ

高炉セメントを用いた膨張コンクリートを対象に、PC 鋼材およびインバー鋼材を用いた一軸拘束試験を行い、拘束膨張・収縮特性の温度依存性について検討した。その結果、拘束膨張ひずみは自由膨張ひずみと比較して温度依存性が小さいこと、膨張ひずみと拘束鋼材比は下に凸の曲線関係にあること、温度上昇過程において膨張材の作用によって生じた膨張応力は温度降下後も残存することを確認した。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会, マスコンクリートソフト作成委員会報告書, pp.124-126, 2003
- 2) 三谷裕二, 谷村充, 佐久間隆司, 佐竹紳也: 膨張コンクリートのマス養生温度履歴を考慮した膨張応力算定法, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1141-1146, 2005
- 3) 土木学会, コンクリート標準示方書[施工編], pp.289-290, 2002

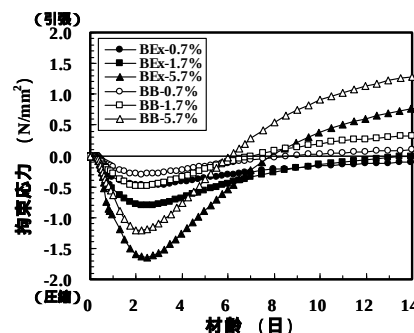


図-6 拘束応力の経時変化

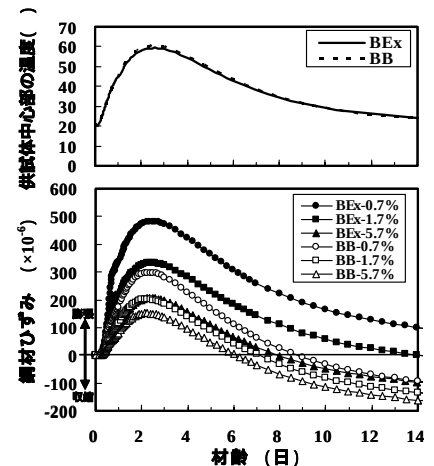


図-4 拘束膨張・収縮ひずみの経時変化

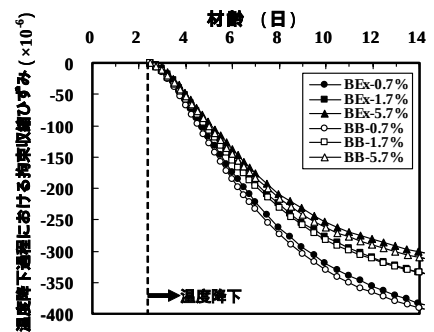


図-5 拘束収縮ひずみの経時変化

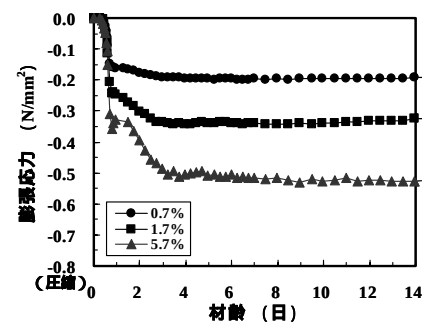


図-7 膨張応力の経時変化